基于CFD技术的单人小型节能赛车的造型设计研究

白仁飞，周玉存
（天津科技大学，天津 300222）

摘要：目的 尝试运用其他学科的研究手段对产品的造型设计进行分析，从而找到一种对造型设计的定量评价方法。**方法** 通过运用CFD技术对造型设计进行分析，找出影响车辆风阻的因素，并对造型设计进行反复调整，直至达到合格的风阻设计要求。**结果** 通过调整造型细节，达到有限条件下最优化的造型设计方案。**结论** 在车辆造型设计的过程中，CFD分析方法能够提供一种科学有效的评价手段，可以对车辆的风阻进行模拟测试，进而影响到车身造型，造型设计也应是基于各种限制因素的理性表达过程。

关键词： 造型设计；CFD技术；单人赛车；风阻
中图分类号： TB472 **文献标识码：** A **文章编号：** 1001-3563(2016)02-0130-04

Modeling Design of Solo Machine Based on CFD Technology

BAI Ren-fei, *ZHOU Yu-cun*
(Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

ABSTRACT: It elaborates the modeling design process of solo machine.It analyzes the modeling design with CFD technology and finds out the factors of affecting the wind drag in order to adjust the design and meet the qualified requirements.The designer gets the optimal design scheme through adjusting the modeling details.In the process of automobile modeling design, the CFD provides a scientific and effective evaluation method which can test the wind drag to influence the body design, and the modeling design should also be a rational expression based on various limiting factor.

KEY WORDS: modeling design; CFD technology; solo machine; wind drag

对于汽车造型设计而言，其空气动力学分析结果是影响造型设计的重要因素之一。目前，针对汽车动力学的研究主要有两个方法：其一为风洞实验，这是一种传统、成本高且研究周期较长的方法；其二为计算机数值模拟的方式，即CFD[1]。结合STAR-CCM+软件对单人小型赛车的CFD进行模拟计算，主要从风阻系数等方面对造型的空气动力学性能进行研究，并以此为依据来对造型设计起到指导作用[2]。

1 汽车造型设计前期方案

由于是为“第九届Honda中国节能竞技大赛”所制作的设计，所以比赛赞助商提供了固定的发动机并严格规定了车架尺寸，车身设计尺寸要求见图1。该比赛规定了汽车所携带的燃油总量，靠测算汽车行驶距离来对汽车的设计性能进行衡量，即在同等距离下，

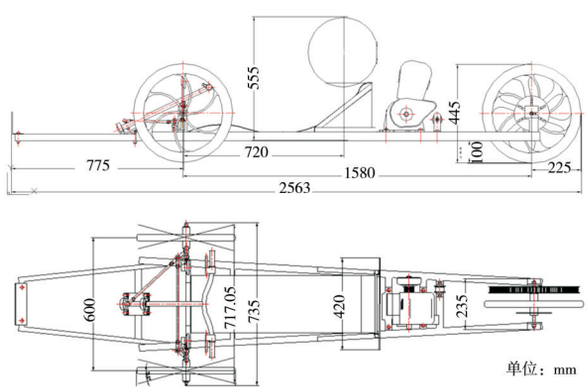

图1 车身设计尺寸要求
Fig.1 The dimensions of car body design

收稿日期： 2015-08-28
作者简介： 白仁飞(1982—)，男，河北人，硕士，天津科技大学讲师，主要从事产品设计创意与方法、计算机辅助设计方面的研究。

对燃油消耗的多少进行排序,以此来决定比赛的名次。由于发动机和车架已固定,所以汽车车身的造型设计成为影响比赛成绩的重要因素。

在汽车行驶过程中,影响发动机效率的最重要原因就包括空气阻力,这一数值会随着速度的增加而增大。而在汽车造型设计中,对减小风阻最有效的造型风格为流线型设计,因为流线型的车身设计能够将车头处的风阻压力值逐渐降低。根据流线型风格的要求,需要将车辆的挡风玻璃向侧方和后方弯曲,车顶高度尽量降到最低,且车顶与尾部要圆滑过渡[3]。各种造型的风阻压力对比见图2,具备流线型风格的水滴造型,是经测试后的能达到最小风阻的造型。该小型赛车的造型设计应从水滴造型中提取相关的造型元素。

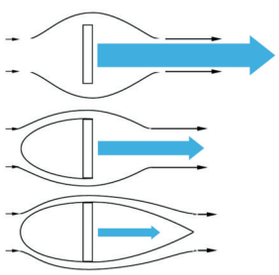

图2　各种造型的风阻压力对比

Fig.2　The comparison of wind drag on multiple modeling

基于对水滴造型风格的理解,初步设计了赛车的造型方案。在设计的时候主要考虑到了如下几个方面。

首先,造型整体呈椭圆状,这是比较接近于水滴形态的造型,尤其车头四周的圆滑处理能够有效地减少汽车在行驶过程中的“迎面阻力”,初步方案俯视图见图3。这是因为途经汽车侧面的气流能够平滑流过,造型有较大的过渡面,气流不会马上分离,也就不会在分离点附近产生较大的涡流。经测试,已知水滴的最小风阻系数为0.05,而现代轿车的风阻系数一般维持在0.28~0.4之间,足见水滴的形态对减小汽车风阻的效果是显著的。当然,影响风阻系数的原因不止车身造型一个因素,具体的风阻系数还有待使用CFD技术的软件来测定[4]。

其次,汽车尾部造型采取上翘的尾翼设计,初步方案侧视图见图4。这样做的目的是为了减小风阻对汽车行驶过程中的影响。汽车风阻F_w的计算公式为:

$$F_w = \frac{c\rho s V^2}{2}$$

其中,C为空气阻力系数;ρ为空气密度;S为物体迎风面积;V为物体与空气的相对运动速度。可见,空气阻力与车速的平方成正比,一般情况下,汽车的

图3　初步方案俯视图

Fig.3　The top view of previous plan

图4　初步方案侧视图

Fig.4　The side view of previous plan

速度越快,空气阻力对其影响也越明显。这种阻力包括纵向、横向和垂直3个方向的作用力,而尾翼可以增加汽车对地面的附着力,从而抵消一部分垂直方向的升力,控制汽车上浮,以便减小风阻对汽车的影响,还能提高汽车行驶时的稳定性[5]。

当然,尾翼的作用在高速行驶的列车中作用会比较明显,对于该比赛用的赛车来说,由于一般情况下,其时速会小于40 km/h,尾翼的作用也许并不会很明显。如果是这样的话,尾翼主要是造型上的需要,由于增加了很多造型上的细节,可以使汽车整体看起来更加具有动感。

最后,赛车的底盘在尾部设计有向上的倾角,这样可以保证从底盘通过的气流能够向上冲击汽车,行驶过程中可在尾部形成漩涡,从而减少风阻对汽车的影响。经研究发现,汽车的风阻大小主要取决于汽车尾部的空气流态,即汽车在行驶的过程中除了会在汽车正面形成“迎面阻力”之外,还会在尾部形成紊乱漩涡区,见图5,这样就会造成汽车的前后压差,形成“压差阻力”。所谓压差阻力,是由运动着的物体前后产生的压强差所形成的,压差阻力越大,则汽车的风阻系数则越大[6]。

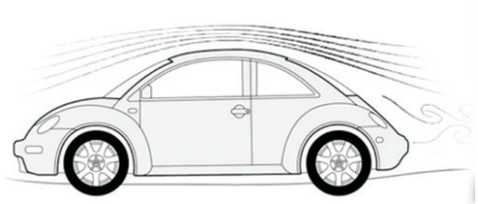

图5　汽车尾部形成的漩涡

Fig.5　The vortex in the rear of the car

2　CFD分析

首先,对初步方案的三维模型划分网格。从rhino模型中导出为step格式的文件,再导入STAR-CCM+软件中。STAR-CCM+自带的网格生成技术可以自主创建网格,并且可以对质量较差的表面进行处理。最终形成的网格模型为三角面组成的重构模型,见图6。重

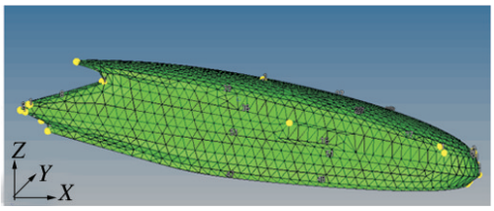

图6 初步方案CFD分析网格模型

Fig.6 The CFD mesh model of previous plan

构的模型质量越高,模拟计算的准确度则越高[7]。

其次,对表面压力的分布进行分析,见图7,它是赛车纵向侧面的压力分布云图。从图中可以看到,赛车所承受压力最大的部分为车头正面,这部分的压力主要为正压力,汽车所承受正压力的区域为“正压区”。压力沿着车身侧面的过渡区域逐渐降低,其中,车的顶部和底盘部位出现了部分负压,汽车所承受负压力的区域为“负压区”。这是因为气流在车头部分发生分离后,分别流向了车顶和车底部位,而在流动过程中气流发生了局部分离,从而形成了负压区。从图7中可以看出,车尾部分的压力主要是负压,赛车的前后存在的压力差值就造成了其压差阻力,这是对赛车风阻系数造成较大影响的部分[8]。

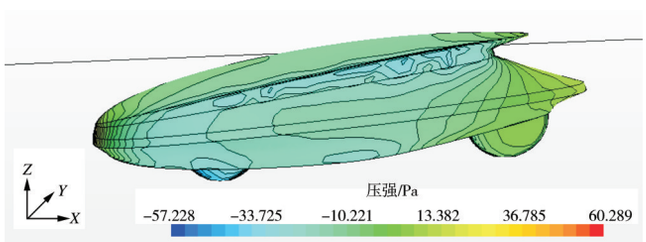

图7 初步方案CFD车身表面压力分析

Fig.7 The CFD body surface pressure of previous plan

初步方案CFD车头表面压力分析见图8。可以看到,其前脸正迎风的面积较大,这就造成正压区面积较大,最高压力值也比较大。这些都可以直接影响赛车前后压力差值的阈值。

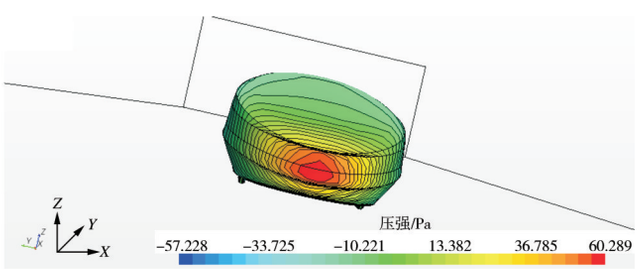

图8 初步方案CFD车头表面压力分析

Fig.8 The CFD headstock surface pressure of previous plan

初步方案CFD汽车尾部气流速度见图9,可以看到图中有两个较大的尾部漩涡,且中心气流速度较高,这些都造成了汽车尾部的气流压力处于较低的水平。结合分析得到的车头部分压力正压力值较高的结果,可以判断,该车型的前后压力差值较大,则其压差阻力也较大,这必然造成了汽车风阻的增加。

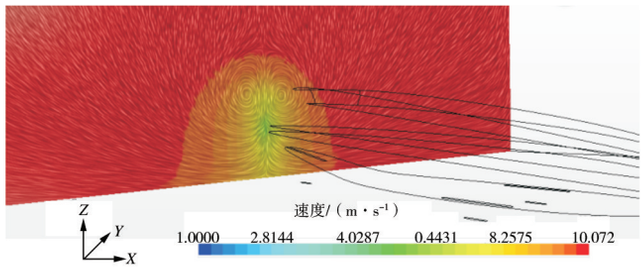

图9 初步方案CFD汽车尾部气流速度

Fig.9 The CFD tail airspeed of previous plan

3 造型方案修改

依据CFD的分析结果,计划对赛车的造型设计进行如下调整。

首先,车头部分纵向不够圆滑,应该在保证车手视野的前提下,对车头部分的造型细节进行改进,这样就能保证气流在车头的上下和两侧都能够流畅地进行过渡,而不至于过早分离产生负压,从而减小风阻。改进方案俯视图见图10,是修改后的车头曲面效果。同时,这样的造型也缩小了车头的迎风面积,进而减小了正压区面积,根据风阻的计算公式可知,其更改后方案的风阻必然会在一定程度上得到降低[9]。

其次,赛车后轮采用包裹式,减小了气流对后轮的冲击,引导气流向两边扩散,从而缓解了尾部漩涡的气流扰动。这样就改变了车辆前后的压差阻力,从而直接影响了风阻的大小。这说明,并不是只有汽车的外观才会影响风阻的大小,汽车的车轮细节也会产生影响,尤其是“车轮室”的设计,包覆式的设计就要比外露的设计风阻系数要小[10]。

同时,保留了赛车的尾翼细节,事实证明,尾翼的存在对削减风阻在汽车行驶过程中的影响是有效的。但尾翼的细节得到了调整,改变后的效果更加低调圆润,与头部的造型更加协调。底盘尾部向上的倾角也得到了改善,增大了倾斜的角度,并且从造型上设计成为赛车尾部的一部分,这个细节的调整还有待CFD软件的测试。改进方案侧视图见图11。

最后,对改进过的赛车造型再一次进行CFD分析。改进方案CFD车身表面压力分析见图12。可以看到,整车的压力分布更加均匀,车顶和车底部的负

图10　改进方案俯视图

Fig.10　The top view of improved plan

图11　改进方案侧视图

Fig.11　The side view of improved plan

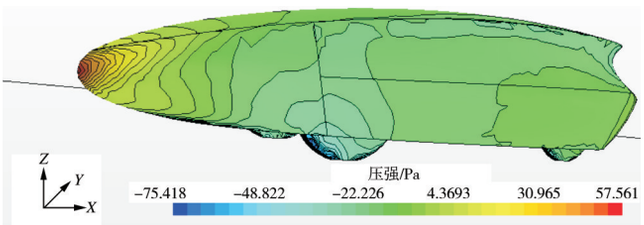

图12　改进方案CFD车身表面压力分析

Fig.12　The CFD body surface pressure of improved plan

压区域得到了改善,这得益于汽车更加出色的流线型造型。

车头部的正压区域的面积也得到了优化,改进方案CFD车头表面压力分析见图13。高压区域变得更小,最高压力值也有降低的趋势,这些都能有效减小风阻的大小。

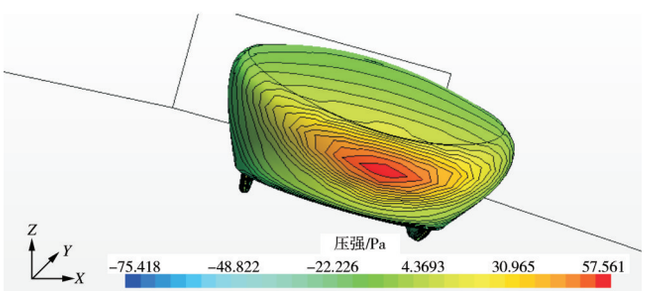

图13　改进方案CFD车头表面压力分析

Fig.13　The CFD headstock surface pressure of improved plan

改进方案CFD汽车尾部气流速度见图14。可见,通过对赛车尾部的造型进行改进,其尾部气流通过时更加流畅,图中呈现了4个较小的尾部漩涡,由于气流提前扩散,所以尾部中心的气流速度得到了降低。这就进一步减小了汽车前后的压差阻力,从而减少了风阻对汽车行驶过程中的影响。

4　结语

实践证明,利用CFD分析方法对汽车造型的风阻进行分析,可以使汽车造型设计有据可依,更加符合汽车的本质需求,这也是汽车开发过程中对造型设计进

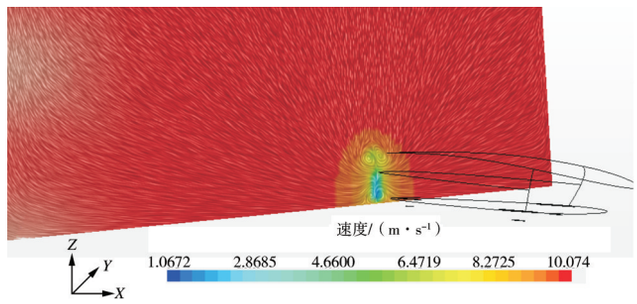

图14　改进方案CFD汽车尾部气流速度

Fig.14　The CFD tail airspeed of improved plan

行评估的重要手段。分析表明,车辆头部和尾部的压差阻力是影响风阻大小的最重要原因。汽车的局部细节也可以对汽车的风阻产生影响。当然,CFD技术只是一种模拟分析的方法,在产品实际的开发设计过程中,还要综合运用其他方法,才能保证设计的质量。

参考文献:

[1]　刘涛,刘凤华.基于STAR-CCM+的高速列车空气动力学性能数值分析[J].大连交通大学学报,2013,34(2):24—27.
LIU Tao, LIU Feng-hua.Numerical Analysis of Aerodynamic Performance of A High-Speed Train Based on STAR-CCM+[J].Journal of Dalian Jiaotong University,2013,34(2):24—27.

[2]　何海峰,郑伟涛.基于STAR-CCM+的帆板翼空气动力性能数值模拟[J].武汉体育学院学报,2012,46(5):58—67.
HE Hai-feng, ZHENG Wei-tao.Numerical Simulation on Aerodynamic Performance of Sail of Windsurfer Based on STAR-CCM+[J].Journal of Wuhan Institute of Physical Education,2012,46(5):58—67.

[3]　李锦,陈佳星.某轿跑车的空气动力学性能仿真分析[J].上海工程技术大学学报,2009,23(3):194—197.
LI Jin, CHEN Jia-xing.Simulation of Vehicle Aerodynamics Performance[J].Journal of Shanghai University of Engineering Science,2009,23(3):194—197.

[4]　薛艳敏,刘飞.电动汽车造型设计分析[J].包装与设计,2015(2):110—112.
XUE Yan-min, LIU Fei.Analysis of the Design of Electric Vehicles[J].Package and Design,2015(2):110—112.

[5]　高柏多,杨雄勇.汽车油泥模型中线与面关系研究[J].机械设计,2015,32(4):126—128.
GAO Bai-duo, YANG Xiong-yong.Research on the Relationship between Line and Surface of Automobile Day Model[J].Journal of Machine Design,2015,32(4):126—128.

[6]　鞠清绘,金红艳.东风风神概念轿车造型设计[J].机械设计,2014,31(10):116—118.
JU Qing-hui, JIN Hong-yan.Modeling Design on Dongfeng Aeolus Concept Car[J].Journal of Machine Design, 2014, 31

(下转第178页)

社,2013.
DING Song-yang.Technology and Application of Software Reverse Engineering[M].Beijing: Economy& Management Publishing House,2013.
[2] 龙圣杰.基于逆向工程的摩托车逆向设计——以BY8602弯梁摩托车开发为例[J].机械设计,2012,29(10):108—109.
LONG Sheng-jie.Motorcycle Reverse Design Based on the Reverse Engineering, To BY8602 Cub Type Motorcycle Development of an Example[J].Journal of Machine Design, 2012, 29(10):108—109.
[3] 张舜德,朱东坡,卢秉恒.反求工程中三维几何形状测量及数据预处理[J].机电工程技术,2001,30(1):7—10.
ZHANG Shun-de, ZHU Dong-po, LU Bing-heng.The Measurement and Data Pre-processing of 3D Geometry in Reverse Engineering[J].Electrical Engineering Technology, 2001, 30(1):7—10.
[4] 梁峭,赵江洪.基于视觉和语义特征的汽车品牌造型设计线索[J].包装工程,2014,35(8):26—29.
LIANG Qiao, ZHAO Jiang-hong.The Automobile Brand Design Cue Based on Visual and Semantic Features[J]. Packaging Engineering,2014,35(8):26—29.
[5] 赵婧,尹欢.体验设计在汽车内饰设计中的发展及展望[J].包装工程,2014,35(6):77—81.
ZHAO Jing, YIN Huan.Development and Prospect of Experience Design in Automotive Interior Design[J].Packaging Engineering,2014,35(6):77—81.
[6] 韩景芸.基于逆向工程技术的汽车部件设计[J].机械设计,2005,22(5):51—53.
HAN Jing-yun.Automobile Component Design Based on Inverse Engineering Technology[J].Journal of Machine Design, 2005,22(5):51—53.
[7] 金涛,童水光.逆向工程技术[M].北京:机械工业出版社,2003.
JIN Tao, TONG Shui-guang.Reverse Engineering[M].Beijing: China Machine Press,2003.
[8] 陈志扬.反求工程中的曲面重构技术[J].汽车工程,2000,22(6):365—369.
CHEN Zhi-yang.The Technology of Surface Reconstruction in Reverse Engineering[J].Automobile Engineering,2000,22(6): 365—369.
[9] 李承远.逆向工程核心原理[M].北京:人民邮电出版社,2014.
LI Chen-yuan.The Core Principle of Reverse Engineering[M]. Beijing:Posts &Telecom Press,2014.
[10] 王贞,赵江洪.基于可信性的汽车造型设计方法研究[J].包装工程,2014,35(8):30—34.
WANG Zhen,ZHAO Jiang-hong.The Automobile Styling Design Approach Based on Trustworthiness[J].Packaging Engineering,2014,35(8):30—34.

(上接第133页)

(10):116—118.
[7] 张辉香,邱优峰.面向汽车外形空气动力学优化的代理模型方法[J].计算机辅助工程,2014,23(3):6—11.
ZHANG Hui-xiang, QIU You-feng.Surrogate Model Method for Aerodynamics Optimization on Automobile Configuration [J].Computer Aided Engineering,2014,23(3):6—11.
[8] 谌可,王耘.仿生非光滑汽车表面的减阻分析[J].中国机械工程,2012,23(8):1001—1006.
CHEN Ke, WANG Yun.Analysis of Aerodynamic Drag Reduction on Automobile by Using Bionic Non-smooth Surface [J].China Mechanical Engineering,2012,23(8):1001—1006.
[9] 胡伟峰,张明明.基于感性意向的越野车造型设计研究[J].机械设计,2014,31(11):108—110.
HU Wei-feng,ZHANG Ming-ming.Research on SUV Modeling Design Based on the Perceptual Image[J].Journal of Machine Design,2014,31(11):108—110.
[10] 谭群,黎仕增.基于STAR-CCM+的某汽车外流场的数值模拟[J].制造业自动化,2012,34(7):151—153.
TAN Qun, LI Shi-zeng.Numerical Simulation of the Vehicle External Flow with STAR-CCM+[J].Manufacturing Automation,2012,34(7):151—153.

(上接第163页)

(2):14—17.
[5] 陈书琴 .瓦楞纸民用家具设计之成败因素分析[J].装饰,2013(10):115—116.
CHEN Shu-qin.The Success and Failure Factors in Corrugated Paper Furniture Design[J].Zhuangshi,2013(10):115—116.
[6] 何人可.工业设计史[M].北京:北京理工大学出版社,2010.
HE Ren-ke.History of Industrial Design[M].Beijing: Beijing Institute of Technology Press,2010.
[7] 黄圣游.浅析纸质材料家具的艺术表现[J].轻工科技,2013(7):125—126.
HUANG Sheng-you.Analysis of the Artistic Performance of Paper Furniture[J].Light Industry Science and Technology, 2013(7):125—126.
[8] 王玫.宠物家具设计研究[J].大众文艺,2013(23):60.
WANG Mei.Research on the Pet Furniture Design[J].Humor and the Humorist,2013(23):60.